

KEHRWERT DER THERMISCHEN ENERGIE

Absorptionskälteanlagen, Wärmepumpen, Strahlpumpen als alternative Technik?

Kälte ist per Definition keine physikalische Größe, sondern lediglich der Kehrwert der thermischen Energie und entspricht daher einer vergleichsweise niedrigen Temperatur. So ist es im Internetlexikon „Wikipedia“ nachzulesen. Da die thermische Energie üblicherweise in kJ oder Ws gemessen wird, hätte die Kälte demnach die Einheit $1/k_J$. Diese Definition taugt recht wenig, da ein normal denkender Mensch spätestens bei der Einheit $1/k_J$ und der Frage, wieso diese „einer vergleichsweise niedrigen Temperatur entspricht“, hängen bleibt. Möglicherweise ist das, was wir als Kälte bezeichnen zu einfach, um es wissenschaftlich kompliziert genug ausdrücken zu können. So wie eine Heizung eine Temperaturerhöhung bewirken soll, so soll die Kälteanlage eine Temperaturabsenkung erreichen. Kälte wäre demnach eine geringere Temperatur und zwar bezogen auf irgend etwas. Vermutlich wäre es sinnvoller von Kühltechnik und Kühlanlagen zu sprechen, damit wäre eindeutig, daß es um die Absenkung von Temperaturen bzw. Energieinhalten geht. Nachfolgend sollen nur Techniken behandelt werden, die großtechnisch im Einsatz sind.

In Großbrauereien sind heute meist zentrale – mit Ammoniak als Kältemittel betriebene – Kompressionskälteanlagen im Einsatz. Teilweise wird ein Sekundärkreislauf, meist mit einem Glykol-Wassergemisch, betrieben, um die Ammoniakfüllmenge und das Risiko bei einer Leckage des Ammoniakkreislaufs zu minimieren bzw. das was die Genehmigungsbehörden als Risiko ansehen und mit entsprechenden Auflagen belegen.

Technisch geringstmöglicher Energiebedarf

Sehr selten wird eine Analyse durchgeführt, um den technisch geringstmöglichen Energiebedarf zu ermitteln. Selbst bei Neuinvestitionen wird häufig aus „Erfahrung“ heraus entschieden, was am günstigsten ist. Diese Behauptung soll nachfolgend am Beispiel des Würzekühlers dargestellt werden.

Ein- und zweistufige Würzekühler

Gebräuchlich sind zum einen einstufige Würzekühler, die aus Eiswasser oder gekühltem Süßwasser Warmwasser erzeugen, das dann als warmes Brauwasser mit Temperaturen oberhalb von 80 °C im Sudhaus wieder verwendet wird. Zum anderen sind zweistufige Plattenapparate gebräuchlich, bei denen die Würze zunächst mit Brauwasser vorgekühlt und dann mit einem Glykol-Wassergemisch oder mit Eiswasser, im geschlossenen Kreislauf, auf Anstelltemperatur gekühlt wird. Selbstverständlich gibt es auch Brauereien, die so warm anstellen, daß sie die Anstelltemperatur einfach mit Brauwasser erreichen. Diese sind jedoch in einem Beispiel für einen Wirtschaftlichkeitsvergleich mit der Überschrift „Kälteanlagen“

nicht wirklich zu gebrauchen. Es ist bekannt, daß zweistufige Würzekühler mehr Warmwasser erzeugen als einstufige. Dies alleine deutet bereits daraufhin, daß der zweistufige Apparat einen höheren Wärmerückgewinn bietet als der einstufige. Wenn man beim zweistufigen Apparat das zuviel an Warmwasser nicht verwerten kann, könnte man das 80grädige Wasser ja einfach mit einer Kältemaschine auf 15 °C kühlen und wieder dem Brauwasser zusetzen. Wer diesen Vorschlag als unsinnig bezeichnet, hat möglicherweise noch nicht erkannt, daß beim Betrieb eines einstufigen Würzekühlers im Prinzip genau dies statt findet. Wer heute zuviel Warmwasser in seinem Betrieb hat, macht etwas falsch. Es gibt sehr viele Möglichkeiten, Warmwasser sinnvoll – insbesondere im Sudhaus – einzusetzen, so daß jeder „kostenlos“ erzeugte Tropfen Warmwasser die Gesamtkosten senken kann.

Aber warum erzeugt der zweistufige Würzekühler mehr Warmwasser?

Die Effizienz eines einstufigen Würzekühlers hängt ab von der mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz, die des zweistufigen Apparates hingegen hängt ab von

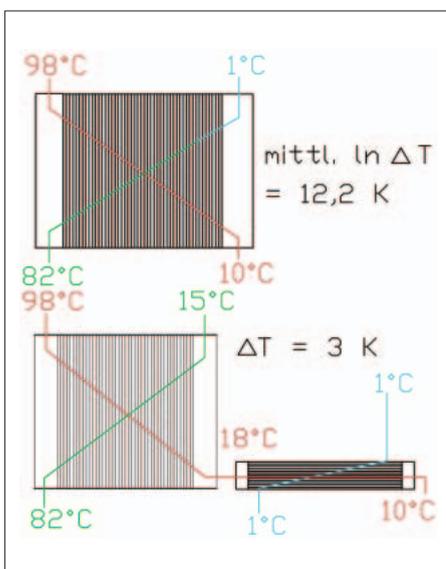


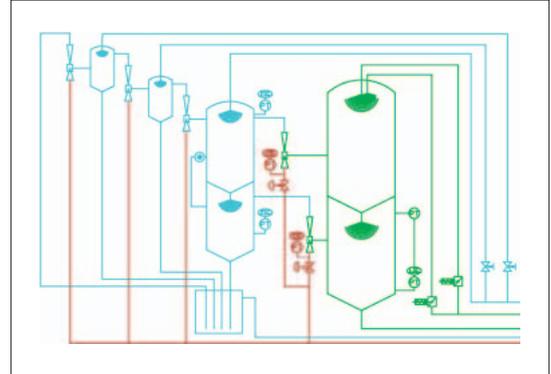
Abb. 1: Effizienz von ein- und zweistufigen Würzekühlern.

der Differenz der Brauwassereintrittstemperatur zur Würzeübergabetemperatur zwischen den beiden Abteilungen (siehe Abbildung 1). Beim einstufigen Würzekühler sind hier Temperaturdifferenzen von 3 K wirtschaftlich sinnvoll zu erreichen. Beim zweistufigen Würzekühler wäre für eine mittlere logarithmische Temperaturdifferenz von 3 K eine etwa dreimal größere Wärmeübertragungsfläche notwendig als beim einstufigen Würzekühler. Üblicherweise werden einstufige Würzekühler mit einer mittleren logarithmischen Temperaturdifferenz von etwa 12 K betrieben, wodurch die Übertragungsfläche und die Investitionskosten geringer ausfallen, als beim zweistufigen Kühler.

Wenn man aber aus wirtschaftlichen Gründen einen zweistufigen Würzekühler wählt, warum setzt man dann für das zweite Abteil einen Plattenapparat ein, der mit einem Wärmeträger (Wasser, Sole oder Wasser-Glykolegemisch) betrieben wird, der mit einer Kompressionskältemaschine heruntergekühlt wurde. Aus energetischer und auch aus wirtschaftlicher Sicht

Funktion einer Kühlanlage mit Dampfstrahlpumpen

Das zu kühlende Wasser wird in den oberen grün dargestellten Tank gesprüht. Durch die Dampfstrahlpumpen herrscht in diesem Tank ein so hoher Unterdruck, daß ein Teil des Wassers verdampft. Durch Gravitation und durch einen dort herrschenden größeren Unterdruck wird das zu kühlende Wasser in den unteren grün dargestellten Tank gesprüht. Durch eine weitere Verdampfung kühlt sich das Wasser weiter ab.



Der Dampf, bestehend aus dem Treibdampf und dem Dampf der aus dem zu kühlenden Wasser verdampft ist, wird in mehrstufigen Sprüh-Kondensatoren niedergeschlagen. Eventuelle Leckluftmengen werden mit den Dampfstrahlpumpen abgesaugt. Das Kühlwasser für die Sprühkondensatoren wird über Verdunstungskühler im Kreislauf gekühlt.

wäre es sinnvoller das zweite Abteil mit einer Kältemitteldirektverdampfung zu betreiben.

Alternative Techniken

Aus der Erfahrung heraus werden in Brauereien zur Kühlung fast ausschließlich Kompressionskälteanlagen eingesetzt. Nur weil eine genügend große Anzahl von Leuten sich für eine bestimmte Technik entscheidet, muß diese nicht gezwungenermaßen die wirtschaftlich sinnvollste Lösung darstellen. Nachfolgend sollen einige Techniken beschrieben werden, die großtechnisch – teilweise auch in Brauereien – im Einsatz sind.

Absorptionskälteanlagen und Kühlanlagen mit Strahlpumpen

Absorptionskälteanlagen sind sehr einfach im Aufbau. Der Stromverbrauch ist äußerst niedrig. Es wird

jedoch Wärmeenergie auf einem relativ hohen Temperaturniveau benötigt. Die Wirtschaftlichkeit einer Absorptionskälteanlage hängt genauso wie die Wirtschaftlichkeit einer Kühlanlage mittels Strahlpumpen zum einen von der Preisdifferenz Wärme- zu elektrischer Energie und zum anderen von den Temperaturdifferenzen ab.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil für die Kühlanlage mit Strahlpumpen ist, daß als Kältemittel ausschließlich Wasser eingesetzt wird. Der Nachteil der Strahlpumpenanlagen für die Brauerei ist, daß Wasser bekanntlich bei 0 °C gefriert und somit Temperaturen unter 0 °C mit der Strahlpumpenanlage nicht direkt erzeugt werden können. Absorptions- und Strahlpumpenkühlanlagen haben sehr wenige bewegte Teile und einen sehr geringen Wartungsbedarf. Beide Systeme können interessant sein

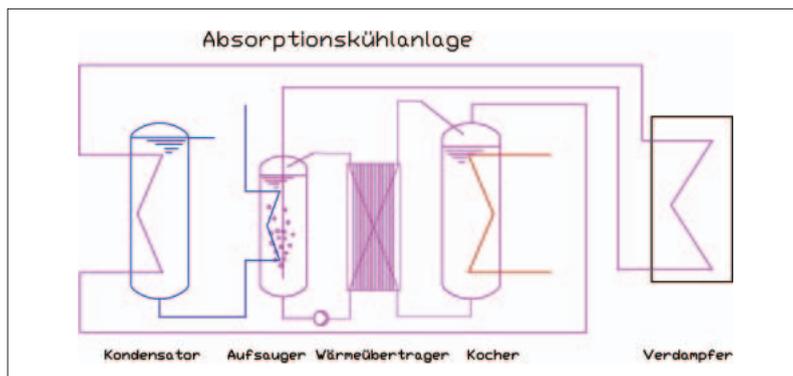
beim Betrieb einer Kraftwärmekopplung mit Gasturbine, da häufig diese Anlagen bereits wirtschaftlich arbeiten, wenn die Wärme zu einem Teil der eigentlichen Kosten der Primärenergie sinnvoll verwertet werden kann.

Da Brauereineubauten oder Erweiterungen selten sind, muß im Normalfall davon ausgegangen werden, daß bereits eine Kompressionskälteanlage vorhanden ist. Durch eine Herabsetzung der Kondensationstemperatur mit einer Unterkühlung des Kondensats kann der Wirkungsgrad der Kompressionskälteanlage sehr deutlich erhöht und damit der elektrische Kraftbedarf deutlich gesenkt werden. Hierfür müssen keine Temperaturen unter 0 °C erzeugt werden, so daß hier auch Strahlpumpenanlagen sehr wirtschaftlich eingesetzt werden können. Der Vorteil dieser Verfahrensweise ist, daß die Wärme der Kraftwärmekopplungsanlage außerhalb der Heizperiode äußerst sinnvoll verwendet werden kann.

Funktion einer Absorptionskälteanlage

Die Anlage wird mit einer Lösung von zwei Stoffen betrieben, die deutlich unterschiedliche Siedepunkte aufweisen. Gebräuchlich sind Anlagen mit der Kombination Wasser und Ammoniak oder mit Lithiumbromid und Wasser. Im ersten Fall ist das Kältemittel Ammoniak mit einem Siedepunkt bei atmosphärischem Druck von – 33,33 °C und im zweiten Fall ist es Wasser, mit einem Siedepunkt von 100 °C, der hier deutlich niedriger ist, als Lithiumbromid mit 1310 °C.

Nachfolgend wird die ammoniakbetriebene Anlage kurz erläutert: Im Kocher befindet sich eine wäßrige Ammoniaklösung. Beim Kochen verdampft das Ammoniak. Das verdampfte, heiße Ammoniak wird durch den Kondensator geleitet und kondensiert hier. Im Verdampfer wird das Ammoniak wieder gasförmig und nimmt Wärme auf. Der kalte Ammoniakdampf wird in den Aufsauger (Absorber) eingepert und das Ammoniakgas löst sich in der wäßrigen Ammoniaklösung. Diese wäßrige Ammoniaklösung wird über einen Wärmeübertrager zurück in den Kocher gepumpt. Der Wärmeübertrager wird auf der anderen Seite mit der warmen Ammoniaklösung betrieben, die den Aufsauger nachfüllt. Der Aufsauger wird ständig gekühlt, wobei das Kühlwasser nach dem Gebrauch im Aufsauger noch im Kondensator Verwendung findet. Das Kühlwasser kann z. B. über einen Verdunstungskühler mehrfach wiederverwendet werden.



Kältemitteldirektverdampfung oder indirekte Kühlung

Nahezu alle Brauereien lagern CO₂ flüssig, so daß es vor der Verwendung verdampft werden muß. Diese Verdampfer können ebenfalls den Wirkungsgrad der Kompressionskälteanlage verbessern, wenn die Verdampfungswärme dazu benutzt wird, das Kältemittel zu kühlen.

An etwa 100 Tagen im Jahr wird in Deutschland eine Temperatur von unter 0 °C gemessen. Vor 100 Jahren war es noch üblich, diese kostenlose Kühlung zu nutzen. Auch heute wäre es mit relativ geringem Aufwand möglich, kalte Außenluft zumindest teilweise für die Raumkühlung einzusetzen. Da die meisten Brauereien auch in Zukunft Kompressionskälteanlagen betreiben werden, stellt sich die Frage ob man eine Kältemitteldirektverdampfung konsequent einsetzt oder zumindest in einigen Bereichen auf eine indirekte Kühlung, z. B. mit einem Glykol-Wassergemisch arbeiten sollte. Dies ist vornehmlich eine rein wirtschaftliche Entscheidung. Schwere Ammoniakunfälle in Brauereien sind extrem selten. Andere Kältemittel als Ammoniak werden wegen der schlechteren thermodynamischen Eigenschaften kaum eingesetzt.

Raimund Kalinowski